6-Ч

УДК 681.511.4

В.М. Чуйков, А.А. Семерников, С.Н. Козленя
НКБ цифровой обработки сигналов Южного федерального университета,
г. Таганрог, Россия
chvm46@mail.ru

Простой алгоритм цифровой параметрической идентификации

Рассматривается цифровой алгоритм определения коэффициента передачи по угловой скорости и обеих постоянных времени математической модели электропривода, когда его передаточную функцию по углу можно представить в виде последовательного соединения передаточных функций двух инерционных и одного интегрирующего звеньев. Описана структурная схема алгоритма, представлены результаты моделирования.

Введение

Наличие математической модели (ММ) объекта управления (ОУ), описывающей его как можно более точно, является важным условием разработки эффективных алгоритмов управления современными системами автоматического управления (САУ). При этом весьма желательным и важным является знание изменения параметров модели в зависимости от условий эксплуатации САУ (изменение температуры, влажности, присутствия агрессивной среды и т.п.).

В терминах теории анализа электрических цепей задача идентификации достаточно исследована и решение ее в основном сводится к анализу переходной функции электрической цепи при подаче на ее вход единичного скачка тестирующего напряжения [1].

На этом принципе построены известные процедуры идентификации [2], которые сводятся к анализу напряжения $z(t)$ на выходе датчика углового положения, который жестко механически связан с выходным валом электропривода (ЭП), при воздействии на вход разомкнутого электропривода тестирующего напряжения x(t). Однако в этом случае возможна идентификация только самой простейшей ММ электропривода.

В [1], [3] предложены алгоритмы идентификации для определения коэффициента передачи по угловой скорости k и постоянных времени T_1 , T_2 для более сложной ММ привода, когда его передаточную функцию по углу $W_{ПР}$(p) можно представить в виде последовательного соединения передаточных функций двух инерционных и одного интегрирующего звеньев. Эти алгоритмы позволяют с достаточной для практического применения точностью определять коэффициент передачи по угловой скорости электропривода и обе его постоянные времени. Однако для их реализации необходимо использовать достаточно сложные итерационные алгоритмы формирования специальной аппроксимирующей функции переходной характеристики по скорости тестируемого ЭП.

Целью данной работы является анализ более простого алгоритма цифровой параметрической идентификации, который позволяет с достаточной для практики точностью определять коэффициент передачи по угловой скорости k и постоянные времени T_1, T_2 ММ электропривода, когда его передаточную функцию по углу можно представить в виде последовательного соединения передаточных функций двух инерционных и одного интегрирующего звеньев.

Структурная схема алгоритма представлена на рис. 1.

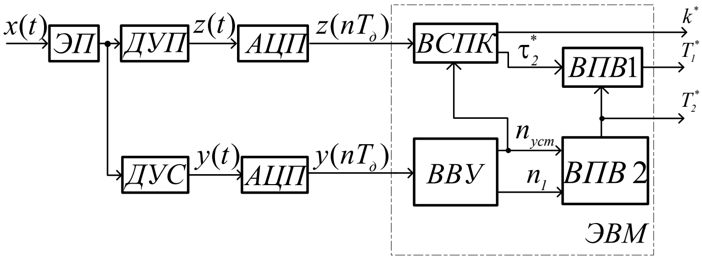


Рисунок 1 – Структурная схема эффективного алгоритма цифровой параметрической идентификации электропривода

На рис. 1 принято, что $x(t)$ – скачок напряжения с амплитудой A на входе ЭП; z(t) – отклик аналогового датчика углового положения (ДУП) с передаточной функцией $W_{ДУП}$(p) на x(t) (переходная характеристика (ПХ) ЭП по угловому положению); $z(nT_{\partial})$ – отсчеты ПХ ЭП на выходе аналого-цифрового преобразователя (АЦП); $y(t)$ – отклик аналогового датчика угловой скорости (ДУС) с передаточной функцией $W_{ДУС}(t)$ на x(t) (ПХ ЭП по скорости), $y(nT_{\partial})$ – отсчеты ПХ по скорости; T_1^*, T_2^* – оценки первой и второй постоянных времени ЭП; k^* – оценка коэффициента передачи по угловой скорости ЭП; ВСПК – блок вычисление оценки τ_2^* суммы постоянных времени $\tau_2 = T_1 + T_2$ и оценки k^* коэффициента k; ВВУ – блок вычисления номера отсчета времени переходного процесса $n_{уст}$, соответствующего времени установления переходного процесса, т.е. времени при котором скорость вращения двигателя ЭП достигает значения 0,95 от своего номинального значения $\Omega_{ном}$ и номера отсчета n_1 времени переходного процесса, при котором скорость вращения двигателя ЭП достигает значения $0{,}90\Omega_{ном}$; ВПВ2 – блок вычисления оценки второй постоянной времени T_2^*; ВПВ1 – блок вычисления оценки постоянной времени T_1^*.

Процедура идентификации в соответствии с предлагаемым алгоритмом сводится к тому, что на вход разомкнутого ЭП подается скачок напряжения, а в ЭВМ выполняются вычисления в соответствии с процедурой, представленной на рис. 1.

В [1] получена формула зависимости $z(t)$, где для простоты выкладок полагалось, что передаточная функция датчика углового положения $W_{ДУП}$(p) = 1. Перейдя к дискретной записи этой формулы, можно показать, что поведение $z(nT_{\partial})$ описывается приближенной формулой:

$$z(nT_{\partial}) \cong \Omega_{ном}\left\{\frac{-T_1^2}{T_2 - T_1}\exp(-\frac{nT_{\partial}}{T_1}) + \frac{T_2^2}{T_2 - T_1}\exp(-\frac{nT_{\partial}}{T_2}) - T_2 - T_1 + nT_{\partial}\right\}, \qquad (1)$$

где $\Omega_{ном} = k \cdot A$, n – номер отсчета входного сигнала, T_{∂} – период дискретизации, для которого в соответствии с теоремой Котельникова должно выполняться условие: $T_{\partial} \le \frac{\pi}{\omega_c}$, где ω_c – частота среза системы.

В [1] также получена формула для уравнения асимптоты P(t) функции z(t). Перейдя к дискретной форме записи этого уравнения, получим:

$$P(nT_{\partial}) = P(nT_{\partial})\,|_{nT_{\partial}\to\infty} \cong \Omega_{ном}\left\{nT_{\partial} - (T_2 - T_1)\right\}. \qquad (2)$$

Из последнего соотношения следует, что если $P(nT_\partial)$ определено и А известно, то могут быть найдены оценки τ_2^* и k^*.

Дополнительные исследования показали, что с методической ошибкой, не превышающей нескольких процентов, для определения τ_2^* и k^* вместо уравнения асимптоты достаточно по результатам обработки $z(nT_\partial)$ находить уравнение касательной к функции $z(nT_\partial)$ в точке ($n_{уст}$, $z(n_{уст})$).

В соответствии с вышесказанным в блоке ВСПК для нахождения оценок τ_2^* и k^* последовательно выполняются следующие действия:

– по результатам обработки текущих значений $z(nT_\partial)$ на всем интервале наблюдения находят уравнение касательной к функции $z(nT_\partial)$ в точке ($n_{уст}T_\partial$, $z(n_{уст}T_\partial)$), которое в общем виде имеет вид: $P(nT_\partial) = B\{nT_\partial - C\}$;

– находят искомые значения τ_2^* и k^* по формулам: $k^* = \dfrac{B}{A}$; $\tau_2^* = C$.

В [3] также получена формула для описания зависимости $y(t)$, где для простоты выкладок полагалось, что передаточная функция датчика углового положения $W_{ДУС}(p) = 1$. Перейдя к дискретной записи этой формулы, можно показать, что поведение $y(nT_\partial)$ описывается приближенным соотношением:

$$y(nT_\partial) \cong \Omega_{ном}\left\{\frac{T_1}{T_2 - T_1}\exp(-\frac{nT_\partial}{T_1}) - \frac{T_2}{T_2 - T_1}\exp(-\frac{nT_\partial}{T_2}) + 1\right\}. \qquad (3)$$

из которого следует, что, сохранив в памяти ЭВМ значения $y(nT_\partial)$ в диапазоне скоростей, лежащих от нуля до её установившегося значения, можно, кроме $\Omega^*_{ном}$, определить оценки номеров отсчета времени $\overset{*}{n}_{уст}$ и n_1^*.

В соответствии с этим в блоке ВВУ по результатам экспериментально полученных значений $y(nT_\partial)$ последовательно находятся значения $\Omega^*_{ном}$, $0{,}95\,\Omega^*_{ном}$, $n^*_{уст}$, $0{,}90\,\Omega^*_{ном}$, n_1^*. Затем значения $n^*_{уст}$ и n_1^* передаются в блок ВПВ2.

В блоке ВПВ2 производится вычисление оценки второй постоянной времени T_2^*. Процедура получения оценки базируется на том факте, что при существенном неравенстве значений постоянных времени T_1 и T_2 переходным процессом, вызванным составляющей с меньшей постоянной времени при приближении разгонной кривой к своему установившемуся значению, можно пренебречь. Тогда большую постоянную времени можно оценить, например, по разности времени Δt между временем разгона двигателя ЭП до скорости $0{,}95\,\Omega^*_{ном}$ и временем его разгона до скорости $0{,}90\,\Omega^*_{ном}$.

Действительно, как показала практика использования алгоритма, при выполнении условия $nT_\partial \geq 2\cdot\dfrac{n_{уст}T_\partial}{3}$ и $T_2 > 1{,}7\ T_1$ в (4) составляющей $\dfrac{T_1}{T_2 - T_1}\exp(-\dfrac{t}{T_1})$ суммы в фигурных скобках (1) можно пренебречь и на основании этого записать систему из двух уравнений:

$$y(n_1T_\partial)\Big|_{nT_\partial > \frac{2n_{уст}T_\partial}{3}} \approx \Omega_{ном}\left\{1 - \frac{T_2}{T_2 - T_1}\exp(-\frac{n_1T_\partial}{T_2})\right\} = 0{,}90\cdot\Omega_{ном}, \qquad (4)$$

$$y(n_{уст}T_д)\Big|_{nT_д > \frac{2n_{уст}T_д}{3}} \approx \Omega_{ном}\left\{1-\frac{T_2}{T_2-T_1}\exp(-\frac{n_{уст}T_д}{T_2})\right\} = 0,95\cdot\Omega_{ном}. \quad (5)$$

В результате решения системы из двух уравнений получим формулу для определения значения второй постоянной времени:

$$T_2 = \frac{T_д(n_{уст}-n_1)}{\ln\left(\frac{1-0,9}{1-0,95}\right)} = 1,443\cdot T_д(n_{уст}-n_1). \quad (6)$$

Отсюда следует, что процедура определения T_2^* в блоке ВПВ2 сводится к вычислениям по формуле (6), где вместо $n_{уст}$ и n_1 необходимо соответственно использовать их оценки $n_{уст}^*$ и n_1^*.

В блоке ВПВ1 T_1^* рассчитывается по формуле:

$$T_1^* = \tau_2^* - T_2^*. \quad (7)$$

Для проверки работоспособности алгоритма в пакете программ «Matlab» проводилось математическое моделирование его работы для имитационной модели тестируемого электропривода.

Для этого в имитационной модели ЭП задавались постоянные времени T_1, T_2 и коэффициент передачи по скорости k, а также амплитуда A тестирующего напряжения.

В процессе моделирования алгоритма проводились три эксперимента, где T_2 было выбрано равным 0,5 с, а T_1 задавалась равной соответственно 0,05 с, 0,2 с и 0,3 с. Амплитуда A задавалась равной *1 В*, $k = 5\ \frac{рад}{с\cdot В}$, а $T_д$ = 0,02 с.

Результаты моделирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эксперимент 1		Эксперимент 2		Эксперимент 3	
T_1 = 0,050	T_2 = 0,500	T_1 = 0,200	T_2 = 0,500	T_1 = 0,300	T_2 = 0,500
T_1^* = 0,0425	T_2^* = 0,501	T_1^* = 0,195	T_2^* = 0,503	T_1^* = 0,289	T_2^* = 0,521
γ1 = 5%	γ2 = 2,0%	γ1 = 4,5%	γ2 = 6%	γ1 = 3,7%	γ2 = 4,2%

В табл. 1 принято, что γ_1 и γ_2 – относительная погрешность измерения, соответственно, первой и второй постоянных времени.

Результаты моделирования показали, что погрешность измерений постоянных времени алгоритма достаточно высокая и не превышает 15% во всем диапазоне проведенных исследований, а погрешность определения коэффициента передачи по скорости привода не превысила 2%.

Выводы

Результаты проведенных исследований и имитационного моделирования позволяют сделать обоснованный вывод о том, что предложенный цифровой алгоритм параметрической идентификации электропривода достаточно прост и эффективен. Его использование позволяет с достаточной для инженерного применения точностью определять коэффициент передачи по угловой скорости и обе постоянные времени электропривода для случая, когда его математическая модель может быть достоверно представлена в виде последовательного соединения передаточных функций двух инерционных и одного интегрирующего звеньев.

Литература

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – СПб : Изд-во «Профессия», 2004.– 752 с.
2. Чуйков В.М. Параметрическая идентификация математической модели электропривода / В.М. Чуйков, А.А Семерников // Современная электроника. – 2010. – № 4. – С. 56-61.
3. Чуйков В.М. Алгоритм цифровой параметрической идентификации / В.М. Чуйков, А.А. Семерников // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2010 : мат-лы Международной научно-технической конференции. – Донецк : ИПИИ «Наука і освіта», 2010. – С. 366-371.

Literatura

1. Besekerskij V.A.Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija. SPb:"Professija". 2004. 752 s.
2. Chujkov V.M. Sovremennaja jelektronika. № 4. 2010. S. 56-61.
3. Chujkov V.M. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii "Iskusstvennyj intellekt. Intellektual'nye sistemy II-2010". Doneck: IPII "Nauka i osvita". 2010. S. 366-371.

В.М. Чуйков, О.А. Семерніков, С.М. Козленя

Простий алгоритм цифрової параметричної ідентифікації

Розглядається цифровий алгоритм визначення коефіцієнта передачі за кутовою швидкістю та обох сталих часу математичної моделі електропривода, коли його передавальну функцію за кутом можливо представити у вигляді послідовного з'єднання передавальної функції двох інерційних та однієї інтегруючої ланок. Описана структурна схема алгоритму, представлені результати моделювання.

V.M. Chuykov, A.A. Semernikov, S.N. Kozlenya

Simple Algorithm for Digital Parametric Identification

Digital algorithm of angular velocity transfer coefficient and both time constants definition of the electrical drive mathematical model is considered. Angular transfer function can be represented as cascade connection of transfer functions of two relaxation circuits and one integrator. Block diagram of the algorithm is described and simulation results are presented.

Статья поступила в редакцию 22.06.2011.